

Producción de etanol en 10 cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) en un ciclo productivo

Ethanol production in 10 sugarcane cultivars (*Saccharum* spp. hybrid) in a productive cycle

Produção de etanol em 10 cultivares de cana-de-açúcar (híbrido *Saccharum* spp.) em um ciclo produtivo

José Rafael Labrador Ramirez^{1*}, Rosa Coromoto Razz García², Belkys Yasmín Bracho Bravo² y Quilianio Luis Contreras Rubio¹

¹Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprún” (UNESUR). Santa Bárbara de Zulia. ZU 4001 Apartado postal 5148. Venezuela. Correos electrónicos: labradorj@unesur.edu.ve; quilianio@gmail.com. ²Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia. ZU4005. Apartado postal 15205. Venezuela. Correos electrónicos: rrazz@fa.luz.edu.ve; bjbrachob@fa.luz.edu.ve. Fuente de financiamiento: Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprún”.

Resumen

La producción de biocombustible de la caña de azúcar, es una alternativa para fomentar su cultivo para la elaboración de etanol. Con la finalidad de evaluar la producción de etanol en 10 cultivares de *Saccharum* spp. híbrido: V99-190, SP72-4928, C323-68, RB85-5035, CR87-339, V99-236, SP70-1284, V98-62, CP74-250 y V98-76 en un ciclo de producción, se realizó un ensayo en el municipio Febres Cordero, estado Mérida. Se empleó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones en campo y un protocolo de destilación simple fraccionada, previa fermentación para la obtención del etanol en laboratorio. Las variables estudiadas fueron toneladas de caña verde.ha⁻¹ (TCH), sólidos solubles totales (%pol), toneladas de azúcar.ha⁻¹ (TAH), litros de etanol .ha⁻¹ (LEt.ha⁻¹), eficiencia en litros de etanol por tonelada de caña (LEt.TC⁻¹) y concentración (%). Los resultados indicaron diferencias significativas (p<0,01) entre los cultivares para TCH, TAH, LEt.ha⁻¹, LEt.TC⁻¹ y concentración y no significativas (P≥0,01) para

Recibido el 11-03-2017 • Aceptado el 21-09-2018.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: labradorj@unesur.edu.ve

%pol. Los mejores valores para TCH se obtuvieron con los cultivares: RB85-5035 (144,1), V99-190 (143,8), V99-236 (142,6). Para %pol sobresalieron: RB85-5035 (15,68%), V99-236 (15,66%) y V98-62 (15,46%). Para TAH resaltaron la RB85-5035 (22,69), V99-236 (22,3), CR87-339 (21,6). En $LEt.ha^{-1}$, los mejores fueron los nativos: V98-62 (12.824,6) y V99-236 (11.293,4) y los foráneos RB85-5035 (12.446,7) y CR87-339 (11.514) superando 12.000 $LEt.ha^{-1}$. Para la eficiencia en $LEt.TC^{-1}$ los mejores fueron: V98-62 (92,3), RB85-5035 (86,1). Mientras que, en concentración resaltaron: RB85-5035 (64,5%), V99-236 (55,95%) y V98-62 (52,82%). Se concluyó que los rendidores en etanol y concentración fueron los cultivares foráneos RB85-5035 y CR87-339 y los cultivares nativos V98-62 y V99-236.

Palabras clave: producción, etanol, caña de azúcar, cultivares.

Abstract

The production of biofuel from sugarcane is an alternative to encourage cultivation for the production of ethanol. In order to evaluate the ethanol production in 10 cultivars of *Saccharum* spp. Hybrid: V99-190, SP72-4928, C323-68, RB85-5035, CR87-339, V99-236, SP70-1284, V98-62, CP74-250 and V98-76 in a production cycle, an assay was performed on the municipality Febres Cordero, Mérida state. A randomized block experimental design with four replications in the field and a simple fractionated distillation protocol, after fermentation for the extraction of ethanol in the laboratory, was used. The variables were tons of green cane. ha^{-1} (TCH), total soluble solids (%pol), tons of sugar. ha^{-1} (TAH), liters of ethanol. ha^{-1} (Let. ha^{-1}), efficiency in liters of ethanol per ton of cane (Let. TC^{-1}) and concentration (%). The results indicated significant differences ($p < 0.01$) between the cultivars for HCT, TAH, $LEt.ha^{-1}$, $LEt.TC^{-1}$ and concentration and not significant ($P \geq 0.01$) for %pol. The best values for TCH were obtained by the cultivars: RB85-5035 (144.1), V99-190 (143.8), V99-236 (142.6). For %pol stood out: RB85-5035 (15.68 %), V99-236 (15.66 %) and V98-62 (15.46 %). For TAH they highlighted the RB85-5035 (22.69), V99-236 (22.3), CR87-339 (21.6). In $LEt.ha^{-1}$, the best were the natives: V98-62 (12,824.6) and V99-236 (11,293.4) and the outsiders RB85-5035 (12,446.7) and CR87-339 (11,514) exceeding 12,000 $LEt.ha^{-1}$. For the efficiency in $LEt.TC^{-1}$ the best were: V98-62 (92.3), RB85-5035 (86.1). While, in concentration they highlighted: RB85-5035 (64.5%), V99-236 (55.95%) and V98-62 (52.82%). It was concluded that the yields in ethanol and concentration were the foreign cultivars RB85-5035 and CR87-339 and the native cultivars V98-62 and V99-236.

Keywords: biofuel, ethanol, sugar cane, cultivars.

Resumo

A produção de biocombustível a partir da cana-de-açúcar é uma alternativa

para incentivar seu cultivo para a produção de etanol. Para avaliar a produção de etanol em 10 cultivares de *Saccharum* spp. Híbrido: V99-190, SP72-4928, C323-68, RB85-5035, CR87-339, V99-236, SP70-1284, V98-62, CP74-250 e V98-76 em um ciclo de produção, um julgamento no município de Febres Cordero, estado de Mérida. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições em campo e um protocolo de destilação simples fracionado, fermentação prévia para obtenção do etanol em laboratório. As variáveis estudadas foram toneladas de cana verde.ha⁻¹ (TCH), sólidos solúveis totais (%pol), toneladas de açúcar.ha⁻¹ (TAH), litros de etanol .ha⁻¹ (LEt.ha⁻¹), eficiência em litros de etanol por tonelada de cana (LEt.TC⁻¹) e concentração (%). Os resultados indicaram diferenças significativas (P<0,01) entre as cultivares para TCH, TAH, LEt.ha⁻¹, LEt.TC⁻¹ e concentração não significativa (P≥0,01) para %pol. Os melhores valores de TCH foram obtidos com as cultivares: RB85-5035 (144.1), V99-190 (143.8), V99-236 (142.6). Para %pol, destacaram-se RB85-5035 (15,68%), V99-236 (15,66%) e V98-62 (15, 46%). Para TAH, destacaram-se RB85-5035 (22.69), V99-236 (22.3), CR87-339 (21.6). No LEt.ha⁻¹, os melhores foram os nativos: V98-62 (12.824,6) e V99-236 (11.293,4) e os estrangeiros RB85-5035 (12.446,7) e CR87-339 (11.514) superiores a 12.000 LEt.ha⁻¹. Para a eficiência no LEt.TC⁻¹, os melhores foram: V98-62 (92.3), RB85-5035 (86.1). Enquanto na concentração destacaram-se RB85-5035 (64,5%), V99-236 (55,95%) e V98-62 (52,82%). Concluiu-se que os rendimentos em etanol e concentração foram as cultivares estrangeiras RB85-5035 e CR87-339 e as cultivares nativas V98-62 e V99-236.

Palavras-chave: rodução, etanol, cana-de-açúcar, cultivares.

Introducción

La caña de azúcar es un cultivo que se siembra con diferentes propósitos, entre los que destaca, la producción de azúcar, panela y alcohol, además sirve como regulador de los procesos energéticos en los que son necesarios. También, se utiliza como forraje para consumo animal debido a su calidad. En la actividad artesanal se produce panela en las áreas agrícolas de bajos ingresos, además se realizan pequeñas explotaciones de biocombustible artesanal y agro industrial para consumo y uso medicinal. Contribuye con una alta producción de biomasa, aumenta el CO₂ y O₂ útiles a las plantas para la fotosíntesis y a ser

Introduction

Sugarcane is a crop which is sown with different purposes, the production of sugarcane, panela and alcohol, moreover works as a regulator of the energetic processes in which they are needed. Also, it is used as a fodder for animal consumption, due to its quality. In the craft activity, panela is produced in agricultural areas of low incomes, furthermore, small exploitations of craft biofuel, and industrial agro are carried out for consumption and medicinal using. It contributes to a high production of biomass, it increases CO₂ and O₂ useful for plants for photosynthesis and to the human being for living (to

humano para vivir (Rolz y De León, 2008). Labrador *et al.*, (2012), Marcano *et al.*, (2013) y MAT (2016) indicaron que la caña de azúcar, es uno de los rubros que ha venido reduciendo la extensión de la superficie cultivada a nivel nacional, por la limitación de los costos de producción, escasez de mano de obra para el manejo agronómico del rubro, alto costo de los agroquímicos, biocontroladores para el control de plagas y enfermedades, insuficiente superficie cultivada y además de los altos volúmenes de biomasa que se necesita para producir bioetanol.

En Venezuela para el periodo 2015-2016 el área cultivada de caña de azúcar fue de aproximadamente 101.350 ha, con un rendimiento promedio alrededor de 70 toneladas de caña de azúcar verde.año⁻¹ por lo que existen las condiciones agroclimáticas potenciales para su producción; no obstante, solo se produce cerca de 11.351.200 t en biomasa, de las que, 5.974.000 t fueron destinadas a la producción de azúcar, las cuales cubren el 50% del consumo nacional, importándose el 50% para cubrir el déficit del país y la importación promedio de 600.000 t de azúcar en los últimos cinco años (MAT, 2016; FEDEAGRO, 2016). La producción de etanol a partir de la caña de azúcar se plantea como una fuente importante de biocombustible químico ecológico que debido a sus ingredientes de producto vegetal mezclado con gasolina favorece la difusión de gases tóxicos para reducir el impacto ambiental (ICIDCA, 2011; Herrera *et al.*, 2011). Es importante mencionar la zona Sur del Lago de Maracaibo que presenta las

live) (Rolz y De León, 2008). Labrador *et al.*, (2012), Marcano *et al.* (2013) y MAT (2016) said that sugarcane is one of the items that has been reducing the extension of the cultivated area at national level, because of production cost limitation, labor shortage for agronomic management of the item, the agrochemicals high costs, bio controllers for pets control and diseases, insufficient cultivated area and in addition to the high biomass volumes (to the high volumes of biomass) that it is needed to produce bioethanol.

In Venezuela for the period 2015-2016, the cultivated area of sugarcane was approximately 101,350 ha, with an average yield around of 70 t of green sugarcane, potential agro climatic conditions exist for their production, however, only about 11,351,200 t are produced in biomass, of which 5,974,000 t were destined for sugar production, which cover the 50% of national consumption, importing the 50% to cover the country's deficit and the average import of 600,000 t of sugar in the last five years (MAT, 2016; FEDEAGRO, 2016). The production of ethanol, from sugarcane, arises as an important source of ecologic chemical biofuel that due to its ingredients of vegetable product mixed with gasoline favors the diffusions of toxic gases to reduce the environmental impact (ICIDCA, 2011; Herrera *et al.*, 2011). It's important to mention the zone Sur del Lago of Maracaibo, which presents the specific agro climatic conditions to manage with success and efficiency projects of sugar and ethanol production, from

condiciones agroclimáticas específicas para conducir con éxito y eficiencia proyectos de producción de azúcar y etanol a partir de cultivares altamente azucareros, en nuevas áreas como los municipios Colón, Catatumbo, Semprúm y Sucre del estado Zulia y Tulio Febres Cordero, estado Mérida. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción y concentración de etanol en diez cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido) en un ciclo de producción.

Materiales y métodos.

Material vegetal

La investigación se realizó de la Unidad de Producción “Miraflores” áreas cañeras, zona Sur del Lago de Maracaibo con suelos de influencia al Central azucarero Venezuela, municipio Tulio Febres Cordero, estado Mérida ubicada en zona de bosque húmedo tropical (bht), temperatura promedio anual máxima de 36,95 °C y mínima de 23,91 °C, la radiación solar promedio de 410,24 $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, precipitación de 1.570 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$, humedad relativa máxima de 85 y mínima de 53%, altitud de 110 msnm y velocidad del viento máxima de 8,53 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (CAV, 2014). El material genético utilizado fue de 10 cultivares certificados de la Estación Experimental Yaritagua, INIA-Yaracuy: V99-190, V99-236, V98-62, V98-76, C32-368, RB85-5035, CR87-339, SP70-1284, SP72-4928 y CP74-250. Cada cultivar específica en su letra inicial y el primer número el país o región y año de origen, mientras que

highly sugar basin cultivars, at new areas like the municipalities Colón, Catatumbo, Semprum y Sucre of Zulia state and Tulio Febres Cordero, Merida state. The objective of this work was evaluate the production and concentration of ethanol in ten cultivars of sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) in a production cycle.

Materials and Methods.

Vegetal material

The investigation was carried out of “Unidad de producción “Miraflores”, cane areas, south zone of Lago de Maracaibo with soils of influence to the Central azucarero Venezuela, municipality Tulio Febres Cordero, Merida State, located in tropical humid forest area, maximum annual average temperature of 36.95 °C and minimum of 23.91 °C, the solar radiation average of 410.24 $\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, rainfall of 1,570 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$, maximum relative humidity of 85 and minimum of 53%, altitude of 110 msnm and maximum wind speed of 8.53 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (CAV, 2014). The genetic material used was of ten certified cultivars of La estacion experimental Yaritagua, INIA-Yaracuy: V99-190, V99-236, V98-62, V98-76, C32-368, RB85-5035, CR87-339, SP70-1284, SP72-4928 y CP74-250. Each cultivar specifies in its initial letter and the first number, the country or region and the year of origin, while the number after script, the sowing lot (the planting lot) (example V99-190 symbolize, Venezuela, year 1999, sowing lot 190); guaranteed with high viability, high

el número después del guion el lote de siembra (ejemplo V99-190 simboliza, Venezuela, año 1999, lote de siembra 190); garantizados con alta viabilidad, alto porcentaje de germinación, tallos gruesos y erectos, buen encepamiento, de fácil deshoje y buen habito de crecimiento, resistentes a plagas y enfermedades, de escasa floración, maduración temprana, alto porcentaje de extracción de jugo, altamente productivos en caña de azúcar, sólidos solubles totales, rendimiento en azúcar, etanol y de fácil adaptación a condiciones agroclimáticas para los requerimientos mínimos del cultivo (Díaz *et al.*, 2012).

Diseño Experimental

El ensayo fue conducido por un ciclo de producción de trece meses en fase plantilla (junio 2013 a julio 2014). El ensayo se realizó en un diseño en bloques completamente al azar, cuatro repeticiones, 10 cultivares y parcelas experimentales de 45 m², se consideraron tallos de la hilera central y una densidad de 10 yemas por metro lineal, dividida en tres hileras de 1,50 m de separación por 10 m de largo, con 6 m de separación entre los bloques.

Muestreo de suelo

El muestreo del suelo se realizó 30 días previo a la siembra en un área efectiva de 3000 m² a profundidad de 40 cm y se mezcló para obtener una muestra compuesta de 1 kg, se analizó en el Laboratorio de Suelos del Centro Socialista de Investigación y Desarrollo del Plátano CESID-Plátano. En

germination percentage, thick and erect stems, good vineyards of easy defoliation and good growth habits, resistant to pests and diseases, of low flowering, early maturation, high percentage of juice extraction, highly productive in sugarcane, total soluble solids, yield in sugar, ethanol and easily adapted to agro climatic conditions for the minimum crop requirements.

Experimental Design

The assay was conducted for a production cycle of three months in plant template phase (june 2013 to july 2014). The assay was carried out in a completely randomized block design, four repetitions, 10 cultivars and experimental plots of 45 m², stems of the central row were considered and a density of 10 buds for linear meter, divided into three rows of 1.50 m of separation (distance) by 10 m of long, with 6 m of separation between the blocks.

Soil Sampling

The soil sampling was carried out 30 days previous to the sowing in an effective area of 3000 m² in depth of 40 cm, and it mixed to get a sample composed of 1 kg, it was analyzed at the Laboratorio de Suelos del Centro Socialista de Investigación y Desarrollo del Plátano CESID-Plátano. Depending on the soil analysis results, granular fertilization was done with urea, simple superphosphate and ammonium sulfate. At the moment of the sowing, was applied all the

función de los resultados del análisis de suelo, la fertilización granular se realizó con urea, superfosfato simple y sulfato de amonio. Al momento de la siembra, se aplicó todo el fósforo, $\frac{1}{3}$ de nitrógeno y $\frac{1}{3}$ de potasio, a los 45 días $\frac{1}{3}$ de nitrógeno y $\frac{1}{3}$ de potasio y el resto de fertilizante a los 90 días. A los 45 días después de establecidos los cultivares, se realizaron observaciones de campo y seguimiento del aspecto general del ensayo. Al madurar (punto de maduración con el refractómetro portátil marca Auxilab. S.L. Modelo HPD-014) a los 13 meses los cultivares al final del ciclo de productivo se recolectaron muestras de 10 tallos de la hilera central por cultivar y por repetición (Mago, 1987) se pesaron, se marcaron y las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelo, Agua y Plantas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA Yaracuy, donde se determinó el contenido de los sólidos solubles totales (SST) o azúcares presentes en el jugo (%pol) con un polarímetro automático digital (marca Numak, modelo PAZ-2B).

Preparación del medio de cultivo (Mosto)

Se cosechó 1 kg de tallos de cualquier cultivar y se extrajo el jugo, se seleccionó una fracción en un recipiente de 150 mL se llevó al laboratorio de Química, se filtró, se esterilizó junto con el recipiente de vidrio y se dejó en reposo. Al descender la temperatura se ajustó a pH de 4,5 y se agregó ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 1 mol.L⁻¹), 10 g de levadura común tipo

phosphorus, $\frac{1}{3}$ nitrogen, and $\frac{1}{3}$ of potassium, to the 45 days $\frac{1}{3}$ of nitrogen, and $\frac{1}{3}$ of potassium and the rest of the fertilizer to the 90 days. At 45 days after established the cultivars, were made fields observations and general aspect tracking of the assay. At mature (Maturation point with the portable refractometer Auxilab. S.L. HPD-014 model) at 13 months, the cultivars, at the end of the productive cycle, samples of 10 stems were collected of the central row to cultivate for repetition (Mago, 1987), they were weighed, marked, and the samples were analyzed, at the Laboratorio de Suelo, Agua y Plantas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA Yaracuy, where the content of the total soluble solids (TSS) or sugars present in the juice (%pol) was determined with a digital automatic polarimeter (Numak, Brand, model PAZ-2B).

Preparation of the crop area (Mosto)

A 1 kg of stalks from any cultivar was harvested and juice was extracted, a fraction was selected in a 150 mL container, it was taken to the Chemistry Laboratory, filtered, sterilized along with the glass container and left at rest. When the temperature dropped, it was adjusted to pH of 4.5 and sulfuric acid (H_2SO_4 , 1 mol.L⁻¹) was added, 10 g of commercial type common yeast (*Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C.Hansen, of Saccharo sugar) 0.65 calcium sulfate, 0.5 g of urea and traces of zinc sulfate, the container was introduced to the incubator into a temperature of 30 °C

comercial (*Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C.Hansen, de Saccharo azúcar), 0,65 g de sulfato de calcio, 0,5 g de urea y trazas de sulfato de zinc, se introdujo a la incubadora a una temperatura de 30 °C y se dejó en reposo durante 48 horas para obtener el medio de cultivo (Herrera *et al.*, 2011).

Obtención de etanol

Una vez que el cultivo maduró a los 13 meses se procedió a cosechar un total de 40 muestras de 1 kg de tallos de cada hilera central por cultivar por repetición, se extrajo el jugo con la maquina exprimidora (marca Penagos, modelo 3 L), se midió los °Brix con el refractómetro de mesa de laboratorio (marca Krus modelo AR4D) y se midió el volumen obtenido de las muestras en un cilindro graduado de 1000 mL, posteriormente, se envasó una porción en recipientes de 100 mL, se marcaron, y se trasladaron al Laboratorio de Química de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago (UNESUR), para el proceso de obtención de etanol.

Esta porción de jugo para cada una de las 40 muestras se envasó en erlenmeyer de 100 mL, se filtraron, se esterilizaron en la plancha de calentamiento, se dejaron en reposo por 20 min, luego se les midió los °Brix con el refractómetro digital (Herrera *et al.*, 2011). Seguidamente, se inocularon con una alícuota de 3 mL del medio de cultivo (Herrera *et al.*, 2011), se colocaron en recipientes esterilizados de 100 mL, se selló con un tapón perforado con una manguera

and it was left at rest during 48 hours to obtain the medium crop (Herrera *et al.*, 2011).

Ethanol obtaining

Once the crop matured at 13 months, a total of 40 samples of 1 kg of stalks were harvested from each central row for cultivation by repetition, the juice was extracted with the squeezer machine (Penagos brand, model 3 L), the °Brix were measured with the laboratory table refractometer (Krus brand model AR4D) and the volume obtained from the samples was measured in a 1000 mL graduated cylinder, then a portion was packed in 100 mL containers, were marked, and moved to the Chemistry Laboratory of the National Experimental University South of the Lake (UNESUR), for the ethanol collection process.

This portion of juice for each of the 40 samples was packed in 100 mL Erlenmeyer, filtered, sterilized on the heating plate, left at rest for 20 min, then measured with the °Brix with the digital refractometer (Herrera *et al.*, 2011). They were then inoculated with an aliquot of 3 mL of the culture medium (Herrera *et al.*, 2011), placed in sterilized 100 mL containers, sealed with a perforated plug with a hose incorporated to release the gases, that hose was placed in a 500 mL beaker with water to ensure that the CO₂ produced by the fermentation of the samples was gradually released ensuring a fully aerobic environment, the pH was adjusted again to 4.5 with sulphuric acid (H₂SO₄, 1 mol.L⁻¹), samples were placed a stove at a temperature of 30

incorporada para liberar los gases, dicha manguera se introdujo en un vaso de precipitado de 500 mL con agua para asegurar que el CO₂ producido por la fermentación de las muestras se liberara gradualmente asegurando un ambiente completamente aeróbico, se ajustó nuevamente el pH a 4,5 con ácido sulfúrico (H₂SO₄, 1 mol.L⁻¹), las muestras se colocaron en una estufa a temperatura de 30 °C durante seis días (Leal *et al.*, 2007).

A los seis días se realizó la destilación del jugo fermentado. muestra¹ al vacío a través de una columna fraccionada con un termómetro incorporado, se vaciaron los 100 mL de cada muestra en un balón de capacidad 250 mL se colocó en el sistema rotavapor, cuando la lectura del termómetro alcanzó una temperatura de 76 °C, el destilado obtenido se eliminó, seguidamente se recogió el jugo a partir de una temperatura de 78 °C hasta los 92 °C para obtener el volumen de etanol. Inmediatamente, se tomó una alícuota de 2 mL y se aforó con agua a 5 mL, de esta solución se extrajo una fracción y se agregó en el alcoholímetro digital (ATAGO PAL-34S) para obtener su valor equivalente en porcentaje en masa y se determinó la concentración de etanol (% v/v) de cada cultivar (Herrera *et al.*, 2014).

Rendimiento de caña y etanol

A los trece meses después de la siembra y con maduración del cultivo se cosecharon las 40 parcelas, se pesó la caña fresca obtenida por muestra en una romana digital y se realizaron las determinaciones de rendimiento en

°C during 6 days (Leal *et al.*, 2007).

At six days later, the fermented juice.vacuum¹ sample was distilled through a fractionated column with a thermometer, the 100 mL of each sample was emptied into a 250 mL balloon placed in the rotavapour system, when the reading of the thermometer reached a temperature of 76 °C, the distillate obtained was removed, The juice was then collected from a temperature of 78 °C to 92 °C to obtain the volume of ethanol. Immediately, an aliquot of 2 mL was taken and supplied with water at 5 mL, from this solution a fraction was extracted and added in the digital breathalyzer (ATAGO PAL-34S) to obtain its equivalent value in percentage by mass and the ethanol concentration (% v/v) of each cultivar was determined (Herrera *et al.*, 2014).

Cane and ethanol yield

At thirteen months after sowing and with maturation of the crop, the 40 plots were harvested, fresh cane obtained per sample was weighed in a digital Roman and performance determinations were made in tons of green sugar cane (TCH), sugar yield (TAH), total soluble solids (%pol), ethanol yield (LEt.ha⁻¹) and efficiency in liters of ethanol per ton of processed cane (LEt.TC⁻¹).

Statistic analysis

The information (the data) obtained from the variables, were processed by the static package Statistical Analysis System (SAS), 2009 version, the techniques

toneladas de caña de azúcar verde (TCH), rendimiento de azúcar (TAH), sólidos solubles totales (% pol), rendimiento en etanol (LEt.ha⁻¹) y eficiencia en litros de etanol por tonelada de caña procesada (LEt.TC⁻¹).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables se procesaron por el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS), versión 2009, se utilizaron las técnicas del análisis estadístico de ANOVA y la prueba de comparación de medias de Tukey.

Resultados y discusión

Rendimiento en caña de azúcar verde (TCH)

El análisis de la varianza mostró diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre los cultivares sobre el rendimiento en caña de azúcar verde. La figura 1, muestra dos grupos de cultivares, el mejor grupo compuesto por los mayores rendimientos en los cultivares RB85-5035, V99-190, V99-236, CR87-339 y V98-62 con un promedio de 141,96 de TCH, siendo estadísticamente superior ($P < 0,05$) a los cultivares SP70-1284, C323-68, V98-76, SP49-28 y CR74-250 cultivares que obtuvieron un promedio bajo de 65,15 de TCH.

Los resultados obtenidos en TCH indicaron un comportamiento diferente entre los dos grupos de medias quizás debido al diámetro del tallo, N° de tallos y hábito de crecimiento propio del carácter

of the static analysis of the static analysis of ANOVA, were used, and the proof of stocking comparison of Tukey.

Results and Discussion

Green sugarcane yield (TCH)

The analysis of the variance showed highly significant differences ($P < 0.01$) between the cultivars on the green sugarcane yield. The figure 1, shows two groups of cultivars, the best composed group for the highest yields in cultivars RB85-5035, V99-190, V99-236, CR87-339 y V98-62 with an average of 141.96 de TCH, being statistically superior ($P < 0.05$) to the cultivars SP70-1284, C323-68, V98-76, SP49-28 and CR74-250 cultivars that obtained a low average of 65.15 de TCH.

The obtained results from TCH indicated a different behavior between the two stocking groups maybe due to the stalk diameter, N° (Numbers of the stalk) and growth habit characteristic of the intrinsic genetic character of cultivar (Rea *et al.*, 2014) and to the climatic conditions like: temperature, soil characteristics and fertility levels that intervened in yields.

By relating the temperature with the yield expression in TCH for the best cultivars, it was showed that the amplitude (breadth) of temperature range in the area (period 2013-2014) superiors to 10° C between day and night, during the cultivating cycle, the photosynthetic rate increased stimulating accumulation of carbohydrates in the stems, inducing

genético intrínseco del cultivar (Rea *et al.*, 2014) y a las condiciones ambientales como la temperatura, características del suelo y niveles de

to cell division and the elongation of internodes of cultivars, demonstrating a higher productivity than 90 % of the stems biomass m⁻² of surface, causing

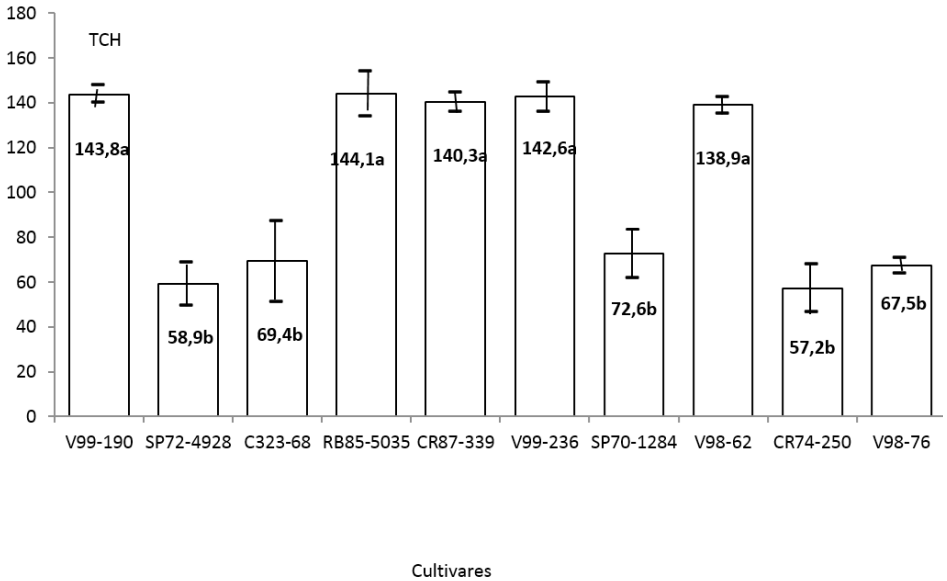


Figura 1. Rendimiento de caña verde (TCH) en cultivares de caña de azúcar en un ciclo de producción.

Figure 1. Green cane yield (TCH) in cultivars of sugarcane in a production cycle.

fertilidad que intervinieron en los rendimientos.

Al relacionar la temperatura con la expresión del rendimiento en TCH para los mejores cultivares, se demostró que la amplitud de rango de temperaturas de la zona (periodo 2013-2014) superiores a 10 °C entre el día y la noche, durante el ciclo del cultivo, aumentó la tasa fotosintética estimulando la acumulación de carbohidratos en los tallos, induciendo la división celular y la elongación de los

diferencias in the yield (CENICAÑA, 1995). The leaf area index (IAF) (leaf index.m² of soil) was related with the production in TCH due to a more IAF the yield on the stalk was higher (Urdaneta y Borges, 2008).

Nevertheless in the area where the investigation was carried out, the soil conditions were not the best, since their nutrient content was low and it presented a sandy loam texture, that indicated that the sheet of water should be high over 10 mm so the crop

entrenados de los cultivares demostrando una productividad mayor a 90% de biomasa de tallos m^{-2} de superficie, provocando diferencias en el rendimiento (CENICAÑA, 1995). El Índice de área foliar (IAF) (área foliar m^{-2} de suelo) estuvo relacionada con producción en TCH pues a mayor IAF mayor fue el rendimiento en tallos (Urdaneta y Borges, 2008).

Sin embargo, en la zona en la que se desarrolló la investigación las condiciones del suelo no fueron las mejores, pues su contenido de nutrientes fue bajo y presentó una textura franco arenosa que indicó que la lámina de agua debe ser alta sobre 10 mm para que el cultivo este a capacidad de campo y esta causa limita la retención de los nutrientes en el suelo, aun con ello los rendimientos en TCH fueron aceptables para la zona. Estos resultados demostraron que hubo una relación entre los componentes genéticos, productivos y agronómicos del cultivo (Bastidas *et al.*, 2012).

En investigaciones realizadas por Marcano *et al.* (2013) encontraron que los mayores rendimientos promedios para los cultivares V99-236 y C323-68 fue de 95,9 TCH, inferior al obtenido en este estudio, respuesta que podría deberse a las diferencias en las condiciones ambientales en ambos ensayos. Resultados similares fueron reportados por Rea *et al.* (2014).

Sólidos solubles totales en el jugo de caña (%pol)

Con respecto al contenido de sólidos solubles totales, no se evidenció

is at yield capacity and this cause limits the nutrients retention in the soil, even with that, the yields in TCH were acceptable for the area. These results showed that there was a relationship between the genetic, productive and agronomic components of the crop (Bastidas *et al.*, 2012).

In the investigations realized by Marcano *et al.* (2013) were found that the highest average yields for cultivars V99-236 y C323-68 was of 95.9 TCH, lower than the one obtained in this study, answer which could be due to the differences in the environmental conditions in both assays. Similar results were reported by Rea *et al.* (2014).

Total soluble solids in cane juice (%pol)

With regard to the total soluble solids, no evident significant differences between cultivars were evident. However, the absolute values (figure 2) demonstrate that there was a variation, due to %pol of the cane is a genotypic characteristic of the cultivar that could be only affected by the environment (Rea *et al.*, 2014). By making the comparison between the absolute values of the best cultivars, RB85-5035 (15.7 %), V99-236 (15.7 %), with V98-76 (13.8 %) SP70-1284 (13.8 %) by the low value, the tendency is that foreign cultivars were better than Venezuelans in %pol, even though, the biomass quantity (the amount of biomass) produced in the area by Venezuelan materials was higher, but its handling and loss of sugar in the field was approximately of 20% by crop (harvest) deficiencies. Also, the sugars translocation, saccharose and

diferencias significativas entre los cultivares. Sin embargo, los valores absolutos (figura 2) muestran que hubo variación, porque el % pol de la caña es una característica genotípica del cultivar que puede ser afectada únicamente por el ambiente (Rea *et al.*, 2014). Al realizar la comparación entre los valores absolutos de los mejores cultivares, RB85-5035 (15,7 %), V99-236 (15,7 %), con V98-76 (13,8 %) SP70-1284 (13,8 %) de menor valor, la tendencia es que los cultivares foráneos fueron mejores que los venezolanos en %pol, aunque la cantidad de biomasa producida en la zona por los materiales venezolanos fue superior, pero su manejo y pérdida de azúcar en el campo fue aproximadamente del 20 % por deficiencias en la cosecha. Además, la translocación de los azúcares, sacarosa y azúcares reductores glucosa y fructosa a través de las raíces a los tallos y hojas, fue afectada por la deficiencia de P (25 mg.kg⁻¹) K (18 mg.kg⁻¹) y boro (mg.kg⁻¹), en el suelo cuyo contenido fue bajo lo que posiblemente limitó el incremento de los azúcares en el jugo de los cultivares (CENICAÑA, 1995).

Sin embargo, los valores de %pol fueron altos para la zona en estudio, y de acuerdo al análisis de suelo, mostró textura franco arenosa que indicó, alta lámina de riego superior a 10 mm y déficit en los macro y micro nutrientes del suelo que afectaron el %pol de la caña; aun así valores superiores al 12% pol se consideraron excelentes, pues este parámetro estuvo muy relacionado con las características morfológicas del cultivo.

glucose reducing sugars and fructose through roots to stems and leaves, was affected by the difference of P (25 mg.kg⁻¹) K (18 mg.kg⁻¹) and boron (mg.kg⁻¹), in the soil whose content was low which possibly limited the increase in sugars in the juice of the cultivars (CENICAÑA, 1995).

However, the %pol values were high for the area under study and in agreement to the soil analysis, it showed sandy loam texture that indicated, high irrigation sheet than 10 mm and deficit in the macro y micro nutrients of the soil that affected the %pol of cane; even so values higher than 12 % pol were considered excellent, because this parameter was very related to the morphological characteristics of the crop.

In the research realized by Rea *et al.* (2014), indicated that when evaluating cultivars for sugar production purposes and total soluble solids in different locations and with different harvests, the genetic character of the cultivar must be considered and in their particular trial they reported averages of 11 % pol for cultivars V98-62, V99-236 y C323-68 very inferior to the obtained in this investigation.

Sugar yield (TAH)

The analysis of variance showed highly significant differences between cultivars ($P < 0.01$). In figure 3, sugar yields are presented. The highest values were obtained by the cultivars: RB85-5035, V99-236, CR87-339, V98-62 y V99-190 with the average of 21.7

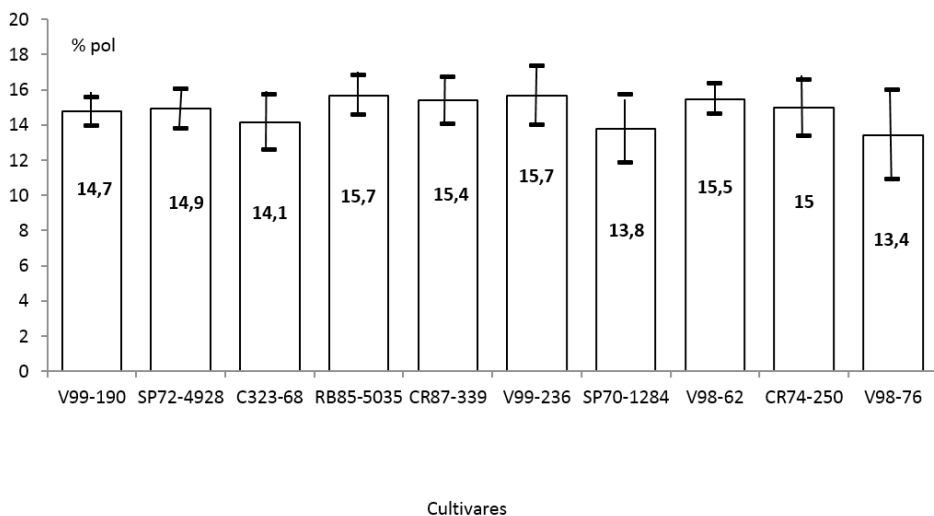


Figura 2. Sólidos solubles totales en el jugo de los cultivares de caña de azúcar.

Figure 2. Total soluble solids in the juice of sugarcane cultivars.

En investigaciones realizadas por Rea *et al.* (2014), indicaron que al evaluar cultivares con fines de producción de azúcar y sólidos solubles totales en diferentes localidades y con cosechas diferentes se debe considerar el carácter genético propio del cultivar y en su ensayo en particular reportaron promedios de 11% pol para los cultivares V98-62, V99-236 y C323-68 muy inferiores al obtenido en esta investigación.

Rendimiento de azúcar (TAH)

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre los cultivares. En la figura 3 se presentan los rendimientos de azúcar. Los mayores valores fueron obtenidos por los cultivares: RB85-

TAH in comparison with the rest of materials SP70-1284, C323-68, V98-76, SP72-4928 y CR74-250 with an average of 9.24 TAH.

The results obtained in sugar yield are closely related with the production of green cane, %pol and to the environmental conditions, since The TAH response results from the product of the total soluble solids by the TCH produced (Rolz and De León, 2008).

It's important to highlight that the difference between the maximum and minimum temperature during the study period was a significant factor in the response in TAH, because it exceeded 10 °C (higher photosynthetic efficiency at temperatures between 24 and 34 °C), due to the physiological level the culture induced, maximum

5035, V99-236, CR87-339, V98-62 y V99-190 con promedio de 21,7 TAH en comparación con el resto de los materiales SP70-1284, C323-68, V98-76, SP72-4928 y CR74-250 con promedio de 9,24 TAH.

net photosynthesis rate in cultivar foliages, accumulating carbohydrates, prompting (inciting) the increase in plant tissue accumulating amounts of plant biomass, which united with the genetic character and y %pol,

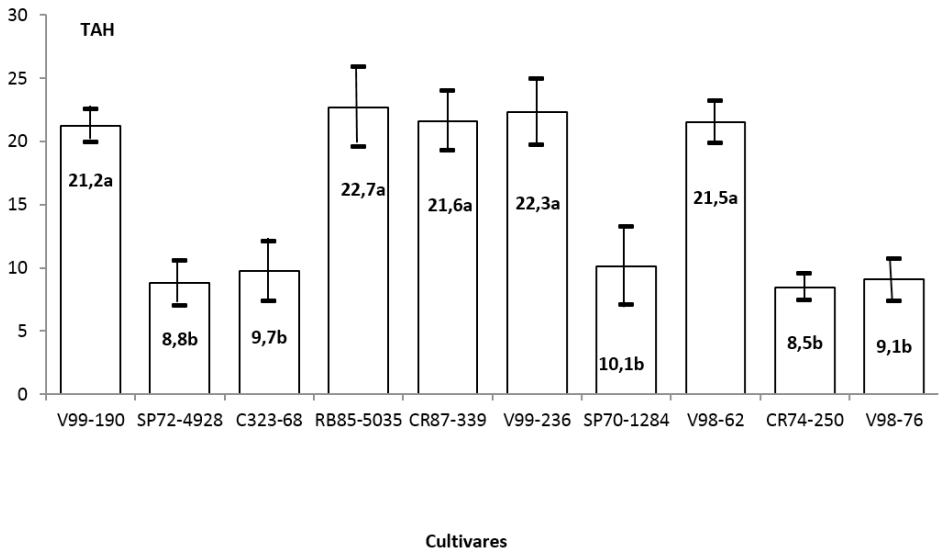


Figura 3. Rendimiento de azúcar (TAH) en cultivares de caña de azúcar en un ciclo de producción.

Figure 3. Sugar yield in sugarcane cultivars in production cycle (TAH).

Los resultados obtenidos en el rendimiento de azúcar están estrechamente relacionados con la producción de caña verde, %pol y a las condiciones ambientales, pues la respuesta de TAH, resulta del producto de los sólidos solubles totales por las TCH producida (Rolz y De León, 2008).

Es importante resaltar que la diferencia entre la temperatura máxima y mínima durante el periodo de ejecución del estudio fue un factor

increased sucrose in juice, important parameter for sugar production (CENICAÑA, 1995).

The research realized by Rea *et al.* (2014), Marcano *et al.*, (2013), Bastidas *et al.* (2012) y Labrador *et al.* (2012) in regional assays with elite sugarcane cultivars in potential cane areas for sugar production confirmed that the highest sugar yields in cane were for the cultivars V99-236, V98-

significativo en la respuesta en TAH pues superó los 10 °C (mayor eficiencia fotosintética a temperaturas entre 24 y 34 °C), debido a que a nivel fisiológico el cultivo indujo, máxima tasa de fotosíntesis neta en el follaje de los cultivares, acumulando carbohidratos, incitando el aumento en tejido vegetal acumulando cantidades de biomasa vegetal, que unido al carácter genético y %pol, aumentó la sacarosa en el jugo, parámetro importante para la producción de azúcar (CENICAÑA, 1995).

Investigaciones realizadas por Rea *et al.* (2014), Marcano *et al.*, (2013), Bastidas *et al.* (2012) y Labrador *et al.* (2012) en ensayos regionales con cultivares élites de caña de azúcar en zonas cañeras potenciales para la producción de azúcar confirmaron que los mayores rendimientos de azúcar fueron para los cultivares V99-236, V98-62, V99-190, C323-68 y CR74-250 en promedio 19,2 TAH, valor inferior a los obtenidos en esta investigación.

Rendimiento en etanol (LEt.ha⁻¹)

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre los cultivares. En la figura 4, se observan las medias de rendimiento en etanol en la cual se obtuvieron tres grupos siendo los mayores volúmenes de etanol para los cultivares V98-62, V99-236, RB85-5035 y CR87-339, en promedio de 12.019,7 LEt.ha⁻¹. Un segundo grupo conformado por el cultivar V99-190 (7.202,6 LEt.ha⁻¹), mientras que el grupo con menor rendimiento fue el integrado por cultivares CR74-250,

62, V99-190, C323-68 and CR74-250 on average 19.2 TAH, lower value than those obtained in this investigation.

Ethanol yield (LEt.ha⁻¹)

The variance analysis indicated highly significant differences ($P < 0.01$) between the cultivars. In figure 4, the average yields in ethanol are observed, in which three groups were obtained, being the highest volumes of ethanol for the cultivars V98-62, V99-236, RB85-5035 y CR87-339, on average of 12,019.7 LEt.ha⁻¹. A second group conformed by the cultivar V99-190 (7.202,6 LEt.ha⁻¹), while the group with the lowest yield was integrated by cultivars CR74-250, SP72-4928, C323-68, SP70-1284 y V98-76, with an average of 2.005,6 LEt.ha⁻¹.

The ethanol yield among cultivars, indicated a different behavior, possibly caused by the content of %pol, by concentration of bacteria's associations in fermentation (Otero *et al.*, 2009) and by the volume of juice extraction obtained, which was higher (greater) than 60 % for each cultivar. Studies conducted by Herrera *et al.* (2014) reaffirmed that high sugar content in the juice and high percentage of cultivar extraction produces an increase in fermentation levels, then the bacteria's present activate the acceleration of the product, so, in the distillation process the amount of ethanol increases. For the operation protocol, the concentration of sugars must be between 105 and 110 kg.m⁻³ as a maximum, which guarantees efficiency in the fermentation higher (greater) than 80 %, and it is not possible to reach

SP72-4928, C323-68, SP70-1284 y V98-76, con un promedio de 2.005,6 LEt.ha⁻¹.

values of high volumes of ethanol in the process, higher than (superior) 90

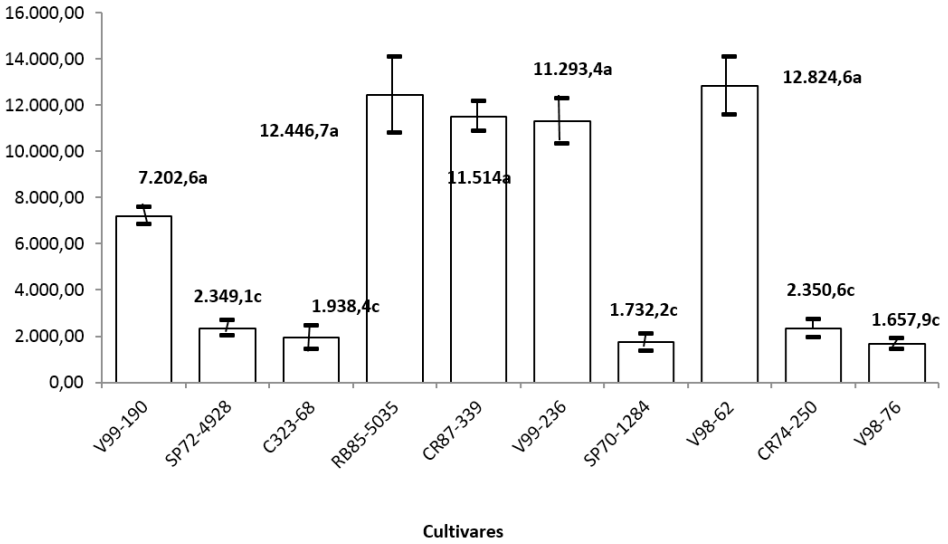


Figura 4. Rendimiento de etanol (LEt.ha⁻¹) en cultivares de caña de azúcar en un ciclo de producción.

Figure 4. Ethanol yield in sugarcane cultivars in a production cycle (LEt.ha⁻¹).

El rendimiento de etanol entre los cultivares indicó un comportamiento diferente posiblemente causado por el contenido de %pol, por la concentración de las asociaciones de bacterias en la fermentación (Otero *et al.*, 2009) y por el volumen de extracción de jugo obtenido, el cual fue mayor al 60% para cada cultivar. Estudios realizados por Herrera *et al.* (2014) reafirmaron que alto contenido de azúcar en el jugo y alto porcentaje de extracción del cultivar produce aumento en los niveles de fermentación pues, las bacterias presentes activan la aceleración en el

% without yeast recirculation (Otero *et al.*, 2010).

In this way, by comparing these results with other research like, Labrador *et al.* (2012) who achieved ethanol yields in V99-236, CR87-339, V99-190 y C23-368 and CP74-250 on average of 2,919.7 LEt.ha⁻¹ inferior to the reported in this study. By the same way, Rolz and De León (2008) with N-56 at 229 days of cultivation, obtained a yield of 4,270 LEt.ha⁻¹, which was low, compared with this study.

proceso de destilación la cantidad de etanol aumenta. Para el protocolo de operación la concentración de azúcares debe estar entre 105 y 110 kg.m⁻³ como valor máximo, lo que garantiza eficiencia en la fermentación superior a 80% y no es posible alcanzar valores de altos volúmenes de etanol en el proceso, superiores al 90% sin recirculación de levadura (Otero *et al.*, 2010).

Así, al comparar estos resultados con otras investigaciones tales como, Labrador *et al.*, (2012) quienes lograron rendimientos de etanol en V99-236, CR87-339, V99-190 y C23-368 y CP74-250 en promedio de 2.919,7 L.Et.ha⁻¹ inferior al reportado en este estudio. De la misma forma, Rolz y De León (2008) con N-56 a 229 días de cultivo, obtuvo un rendimiento de 4.270 L.Et.ha⁻¹, el cual fue bajo, comparado con este estudio. En otros cultivos Capdevila *et al.*, (2015), en arroz (*Oryza sativa* L.) Y Delgadillo *et al.*, (2016), a partir de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) Alcanzaron volúmenes en etanol de 10.628,5 L.Et.ha⁻¹ y 8.810 L.Et.ha⁻¹, respectivamente, valores muy similares a los obtenidos en este estudio, pero con protocolos y sustratos vegetales diferentes.

Eficiencia en litros de etanol por tonelada de caña (L.Et.TC⁻¹)

Para la variable eficiencia de producción de etanol, el análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas (P<0,01) entre los cultivares, afectado por el rendimiento de caña TCH y la cantidad de jugo extraído (Herrera *et al.*, 2014). En la

In other crops Capdevila *et al.* (2015), in rice (*Oryza sativa* L.) and Delgadillo *et al.*, (2016), from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) they reached ethanol volumes of 10,628.5 L.Et.ha⁻¹ and 8,810 L.Et.ha⁻¹, respectively, values very similar to those obtained in this study, but with protocols and different plant substrates.

Efficiency in liters of ethanol per ton of cane (L.Et.TC⁻¹)

For the variable efficiency of ethanol production, the variance analysis indicated highly significant differences (P<0.01) between cultivars, affected by cane yield TCH and the amount of juice extracted (Herrera *et al.*, 2014). In the figure 5, the results obtained for efficiency are shown, being the best cultivars V98-62, RB85-5035, CR87-339 and V99-236 with an average of 84.9 L.Et.TC⁻¹ Green processed, and the least efficient were C323-68, V98-76 y SP70-1284 with a very low average of 25.5 de L.Et.TC⁻¹.

It is important to mention that the ethanol efficiency of 84.9 L.Et.TC⁻¹ In the cultivars evaluated is excellent nationwide, and it is related to the high volumes of sugarcane biomass and the percentage of juice extraction from stalks, greater than 60% that are needed to reach these averages already studied in previous variables. Also, the high concentration of cells in the fermentation medium, allowed a rapid conversion of sugars into ethanol, in a high relationship of L.kg⁻¹ of processed cane (Otero *et al.*, 2009).

However, countries with a sugar trajectory such as Argentina, Brazil

figura 5 se muestran los resultados obtenidos para la eficiencia, siendo los mejores cultivares V98-62, RB85-5035, CR87-339 y V99-236 con un promedio de 84,9 LEt.TC⁻¹ Verde procesada y los menos eficientes fueron C323-68, V98-76 y SP70-1284 con un promedio muy bajo de 25,5 de LEt.TC⁻¹.

Es importante mencionar que la eficiencia en etanol de 84,9 LEt.TC⁻¹ En

and Colombia are the most efficient with 300, 200 and 150 LEt.TC⁻¹ processed, respectively (ICIDCA, 2011).

It is significant to indicate that the efficiency of ethanol is produced by different types of plant substrates and the volume obtained, is in function of the treatment for its extraction, type of fermentation and microorganisms

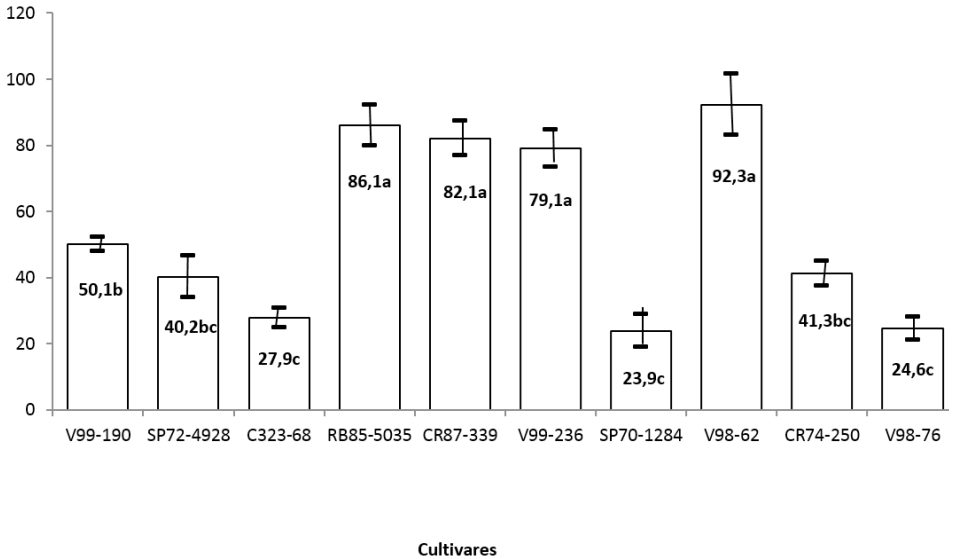


Figura 5. Eficiencia de etanol (LEt.TC⁻¹) por tonelada de caña en cultivares de caña de azúcar.

Figure 5. Ethanol efficiency per ton of cane in sugarcane cultivars (LEt.TC⁻¹).

los cultivares evaluados es excelente a nivel nacional, y está relacionada a los altos volúmenes de biomasa de caña de azúcar y al porcentaje de extracción del jugo de los tallos superiores al 60% que se necesitan para alcanzar estos promedios ya estudiados en las variables anteriores. También, la alta concentración de células en el medio

used to metabolize the process, so, for example, you have: sugarcane 0.08; sugar beet 0.12 and corn 0.4 L.kg⁻¹ (Pérez, 2014).

Research conducted by Labrador *et al.* (2012) in the cultivars CR87-339, V99-190, C32-368 y CR74-250, reached average efficiencies of 28.5 LEt.TC⁻¹ much lower than the results obtained

de fermentación permitió una rápida conversión de los azúcares en etanol, en una relación alta de L.kg⁻¹ de caña procesada (Otero *et al.*, 2009).

Sin embargo, países con trayectoria azucarera como Argentina, Brasil y Colombia son los más eficientes con 300, 200 y 150 LEt.TC⁻¹ Procesada, respectivamente (ICIDCA, 2011).

Es significativo indicar que la eficiencia del etanol se produce mediante diferentes tipos de sustratos vegetales y el volumen obtenido está en función del tratamiento para su extracción, tipo de fermentación y microorganismos utilizados para metabolizar el proceso, así, por ejemplo, se tiene: caña de azúcar 0,08; remolacha azucarera 0,12 y Maíz 0,4 L.kg⁻¹ (Pérez, 2014).

Investigaciones realizadas por Labrador *et al.* (2012) en los cultivares CR87-339, V99-190, C32-368 y CR74-250, alcanzaron eficiencias promedios de 28,5 LEt.TC⁻¹ Muy inferior a los resultados obtenidos en este estudio. De la misma forma, Rolz y De León (2008), con el cultivar N-56 a 229 días de cosechado encontraron eficiencia en bioetanol de 61 LEt.TC⁻¹ Eficiencia baja comparada con este estudio.

En otros cultivos Capdevila *et al.*, (2015), en cascarilla de arroz (*O. sativa*), alcanzaron una eficiencia de 125 LEt.T⁻¹ De materia prima y Delgadillo *et al.* (2016), con remolacha azucarera (*B. vulgaris*) alcanzaron una eficiencia en etanol de 600 LEt.T⁻¹ De materia prima, valores superiores a los obtenidos en este trabajo, pero con otros sustratos vegetales y protocolos diferentes.

in this study. In the same way Rolz and De León (2008), with the cultivar N-56 after 229 days of harvesting, they found efficiency in bioethanol of 61 LEt.TC⁻¹ low efficiency compared to this study.

In other crops Capdevila *et al.*, (2015), in rice husk (*O. sativa*), reached an efficiency of de 125 LEt.t⁻¹ of raw material prima raw material y Delgadillo *et al.* (2016), with sugar beet (*B. vulgaris*) they reached an efficiency in ethanol of 600 LEt.t⁻¹ of raw material, higher values than those obtained in this work, but with other plant substrates and different protocols.

Ethanol concentration (%)

For the ethanol concentration variable, the variance analysis indicated highly significant differences (P<0.01) among cultivars, affected by %pol of juice and content of compounds with radicals OH in the ethanol solution (Herrera *et al.*, 2011). In the figure 6, the results obtained by cultivar are shown, the Tukey tights test, expressed three groups to the concentration of OH in which the best value was presented by the Brazilian cultivar RB85-5035 with 64.5 %, an intermediate group formed by the cultivars V99-236, V98-62, CR87-339, CR74-250, SP72-4928, C323-68, and V99-190 in an ethanol average concentration of 48 %. While a third group integrated by, V98-76 y SP70-1284 were the lowest with 37.2 % of ethanol.

It's important to indicate, that the ethanol concentration in the most

Concentración de etanol (%)

Para la variable concentración de etanol, el análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) entre los cultivares, afectado por %pol del jugo y contenido de compuestos con radicales OH en la solución del etanol (Herrera *et al.*, 2011). En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos por cultivar, la prueba de medias de Tukey expresó tres grupos para la concentración de OH en el cual el mejor valor lo presentó el cultivar brasileño RB85-5035 con 64,5%, un grupo intermedio formado por los cultivares V99-236, V98-62, CR87-339, CR74-250, SP72-4928, C323-68, y V99-190 en una concentración promedio de 48% de etanol. Mientras que un tercer grupo integrado por, V98-76 y SP70-1284 que fueron los más bajos con 37,2% de etanol.

Es importante indicar, que la concentración del etanol en los cultivares más representativos, RB85-5035, CR87-339, V99-236 y V98-62 fue preponderante, pues superó el promedio de 55% de OH. Esto fue a causa de los azúcares presentes en el jugo % pol de la caña como la sacarosa ($C_6H_{22}O_{11}$), glucosa y fructosa las cuales, en la fermentación, activados por la levadura *S. cerevisiae*, y otros microorganismos transformaron los radicales, liberando abundante etanol en ausencia de oxígeno y de ahí la concentración del producto (Obregón *et al.*, 2005; Vázquez y Dacosta, 2007).

En este sentido, Labrador *et al.*, (2012), en los cultivares V99-236, C32-368 y V99-190 reportaron concentraciones promedio de 21,8%

representative cultivars, RB85-5035, CR87-339, V99-236 and V98-62 was preponderant, because it exceeded the average of 55 % of OH. This was because of the sugars present in the cane juice %pol like, sucrose, glucose ($C_6H_{22}O_{11}$), and fruitful, which are in the fermentation, activated by yeast *S. cerevisiae*, and other microorganisms transformed the radicals, releasing abundant ethanol in the absence of oxygen and (from there) hence the concentration of the product (Obregón *et al.*, 2005; Vázquez y Dacosta, 2007).

In this sense, Labrador *et al.*, (2012), in the cultivars V99-236, C32-368 and V99-190 reported average concentrations of 21.8% much lower than the values obtained in this work. Equally, Valencia *et al.*, (2010) with molasses, showed an alcoholic grade of 84.6 % and Delgadillo *et al.* (2016), in sugar beet, they reached an ethanol concentration of 53.5 %, similar results to those obtained in this research, but, with different cultures and protocols using spectrophotometry rectification.

Conclusions

The highest yields of green cane, total soluble solids content present in cane juice, (sugars) and sugar yield in tons per hectare, were obtained with the cultivars: RB85-5035, V98-62, V99-236, CR87-339 y V99-190, which were better adapted to the agro climatic conditions of the area.

The cultivars V98-62, RB85-5035, V99-236 and CR87-339 were the ones that presented the highest ethanol production, efficiency and

muy inferiores a los valores obtenidos en este trabajo. Asimismo, Valencia *et al.*, (2010) con melaza mostraron un grado alcohólico de 84,6% y Delgadillo *et al.* (2016), en remolacha azucarera alcanzaron una concentración en etanol de 53,5%, resultados similares a los obtenidos en esta investigación pero, con cultivos, y protocolos diferentes, utilizando rectificación por espectrofotometría.

concentration, with high potentials to be used in the area under study for biofuel production.

Acknowledgments

The lead author thanks to the Dirección General de Creación, Producción, Promoción y Divulgación de los Saberes (DGCPPDS). UNESUR

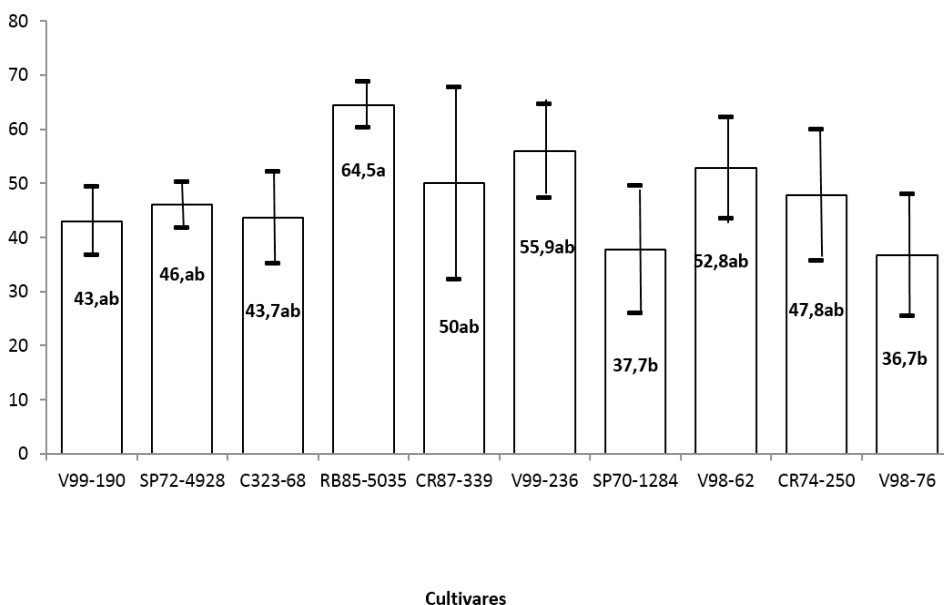


Figura 6. Concentración de etanol (%) en cultivares de caña de azúcar en un ciclo de producción.

Figure 6. Ethanol concentration (%) in sugarcane cultivars in production cycle.

Conclusiones

Los mayores rendimientos de caña verde, contenido de sólidos solubles totales presentes en el jugo de caña

End Of Version of English

(azúcares) y rendimiento en azúcar en toneladas por hectárea se obtuvieron con los cultivares: RB85-5035, V98-62, V99-236, CR87-339 y V99-190, los cuales fueron los de mejor adaptación a las condiciones agroclimáticas de la zona.

Los cultivares V98-62, RB85-5035, V99-236 y CR87-339 fueron los que presentaron mayor producción de etanol, eficiencia y concentración, con altos potenciales para ser utilizados en la zona bajo estudio para la producción de biocombustible.

Agradecimientos

El autor principal agradece a la Dirección General de Creación, Producción, Promoción y Divulgación de los Saberes (DGCPPDS). UNESUR

Literatura citada

Bastidas L., R. Rea, O. De Sousa, E. Hernández y R. Briceño, 2012. Análisis de variables agronómicas en cultivares de caña de azúcar con fines azucareros, paneleros y forrajeros. *Rev. Científica Bioagro (UCLA)* 24(2): 135-142.

Capdevila, V., C. Gely, A. Pagano, y K. Viatsheslav. 2015. Simulación del proceso fermentativo para la obtención de Bioetanol a partir de residuos de arroz (*Oryza Sativa*). (UNICEN). Argentina. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 6(2): 11-21.

CAV (Central Azucarero Venezuela) 2014. Datos Climatológicos. Estación meteorológica II "Palo de Flores II". Agrícola Torondoy. El Batey. Zona Sur Este del Lago de Maracaibo. Municipio Sucre. Estado Zulia. Venezuela. 1- 3 p.

CENICAÑA (Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia). 1995. El cultivo de la caña de azúcar

en la zona azucarera de Colombia. Calidad de la caña de azúcar. Cali. Colombia: Editorial Casalett, C. 95-175 pp.

Delgadillo, A., A. Rojas, E. González, A. Peña, O. Delgado, H. Hernández, A. Escamilla y J. Aguilar. 2016. Producción de bioetanol a partir de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.). *Rev. Científica Ingeniería, Tecnología y Ciencias Aplicadas* 1: 6-9.

Díaz, E., O. De Souza, R. Rea, L. Figueredo, A. Pérez, M. Niño, G. Aza y A. Rivero 2012. Descripción morfológica y valoración de la capacidad productiva del cultivar promisorio CR87-339 en Venezuela. Programa venezolano de desarrollo de variedades de caña de azúcar. Yaracuy. Venezuela. *Rev. Científica INIA Divulga* 21: 5-9.

FEDEAGRO (Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios). 2016. Federación Nacional de Asociaciones de Cañicultores de Venezuela (FESOCA). Vanguardia integrada de entes asociativos del sector agrícola. Organizaciones asociadas. Datos estadísticos de superficie cosechada, rendimiento y producción del cultivo de la caña de azúcar en Venezuela. 2-6 pp.

Herrera, J., V. Padilla y M. Moreno. 2014. Empleo de programas en LabVIEW para la elaboración de bebidas alcohólicas artesanales. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería* 37(3): 1- 9.

Herrera, J., V. Padilla, M. Cárdenas y M. Alayon. 2011. Mejora del proceso de destilación artesanal para la producción de etanol. *Rev. Científica (UNET)* 23 (1): 46-52.

ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar). 2011. Brasil regula el etanol. Comunicación sobre Industria del Etanol. Edición ICIDCA. La Habana. Cuba. Correo electrónico: icidca.@icidca.edu.cu. N° 9: 4-5 pp.

Labrador, J., Q. Contreras, E. Hernández, J. Herrera, M. Alayon, L. Márquez y Y. Becerra. 2012. Evaluación de once cultivares de caña de azúcar

- (*Saccharum* spp. híbrido) en la producción de etanol en fase plantilla. Zona Sur del Lago de Maracaibo. Rev. Científica (UNET) 24(2): 90-97.
- Leal, I., R. Miquelena y H. Guillen. 2007. Evaluación del proceso de destilación del cocuy de Pecaya a partir de la composición de los volátiles mayoritarios. Falcón. Rev. Multiciencias 7 (2): 181-189.
- Mago, P. 1987. Instructivo para la producción de ensayos regionales de variedades de caña de Azúcar. Manual Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (FONAIAP). Coordinación Nacional de Caña de Azúcar. Yaritagua. Maracay. Venezuela. 5: 3-12 pp.
- Marcano, M., M. García y L. Caraballo. 2013. Evaluación de doce variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana. Rev. Científica Agrícola (UDO) 3(1): 65-73.
- MAT (Ministerio de Agricultura y Tierras). 2016. Memoria y Cuenta del Directorio. Estadísticas agropecuarias y económicas. Cultivos Tropicales Tradicionales. Cifras oficiales y Hoja de Balance de alimentos 2-4 pp.
- Obregón, J., R. Hernández, C. Sebrango e I. Curbelo. 2005. Producción industrial de bioetanol y biomasa de levadura empleando el sustrato mezcla de jugos caña energética más miel final. Fermentación alcohólica: Optimización mediante el modelo biológico vivo y el sustrato jugo de caña energética conservado. Centro Universitario de Sancti Spiritus "José Martí Pérez". Disponible en: <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/cu/>. 64: 45-55. Fecha de consulta: octubre 2015
- Otero, M., R. Estévez, G. Saura, J. Martínez, R. García y D. Bello. 2010. Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de caña mezclados. Parte II. Efecto de la temperatura y la concentración de azúcares. La Habana. Cuba. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) 43(1): 29-34.
- Otero, M., R. García, G. Saura, M. Pérez y M. Vasallo. 2009. Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. La Habana. Cuba. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) 43(1):17-22.
- Pérez, A. 2014. Evaluación del proceso de producción de etanol carburante a partir de caña azucarera, Remolacha azucarera y Maíz. Universidad Nacional de Colombia. p. 14-15.
- Rea, R., O. De Sousa, A. Díaz, M. Ramón, R. Briceño y M. Niño. 2014. Interacción genotipo-ambiente en caña de azúcar mediante los modelos de los efectos aditivos principales e interacciones multiplicativas (AMMI) y regresión de sitios en Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 31(3): 362-376.
- Rolz, C y R. De León. 2008. Producción de etanol a partir de la caña de azúcar en diferentes estados de desarrollo. Revista Científica Universidad del Valle de Guatemala 17: 56-69.
- SAS. 2009. Statistical Analysis Systems. SAS Institute Inc. Versión 9.0. North Carolina SAS Institute, Inc. User's Guide. SAS help and Documentation.
- Urdaneta, J. y J. Borges. 2008. Determinación del rendimiento de la biomasa y materia seca en diez cultivares de caña de azúcar forrajera en dos frecuencias de corte. Memorias XIV Congreso de Producción Animal (AVPA). Maracaibo. Estado Zulia. Venezuela. 16 p.
- Valencia, J., A. Betancourth, y J. Fernández. 2010. Elaboración de alcohol deshidratado a partir de la fermentación. Programa de Química, Facultad de Ciencias Básicas y Tecnológicas, Universidad del Quindío. 2-8 pp.
- Vázquez, H y O. Dacosta. 2007. Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. Rev. Científica. Ingeniería, Investigación y Tecnología 8(4): 249-259.